

Wojciech BIALIK¹
Stanisław GIL²
Bolesław MACHULEC³
Józef OCHMAN⁴

WYKORZYSTANIE ODNAWIALNYCH ŹRÓDEŁ ENERGII I CIEPŁA ODPADOWEGO W NISKOTEMPERATUROWYM SYSTEMIE OGRZEWczo-CHŁODZĄCYM HALI DRUKARNI

W pracy przedstawiono nowoczesny system ogrzewania hali drukarni oraz pomieszczeń biurowych i socjalnych. Został on zaprezentowany na dwóch schematach oraz omówiony w pierwszej części artykułu. Układ wykorzystuje pompy ciepła ciecz-ciecz oraz powietrze ciecz. Dla pomp ciecz-ciecz dolnym źródłem jest pionowy wymiennik gruntowy składający się z 13 otworów o głębokości 100 m. W opisywanym rozwiązaniu zastosowano także poziomy gruntowy wymiennik ciepła do ogrzewania czerpanego z otoczenia powietrza wentylacyjnego płynącego następnie do rekuperatorów pomieszczeń biurowych i socjalnych. Gruntowe wymienniki ciepła w trakcie ich budowy zostały zaprezentowane na jednym z rysunków. Pomieszczenia biurowe i socjalne ogrzewane lub schładzane są medium płynącym w matach umieszczonych w ścianach oraz w wybranych częściach podłogi. Dla ograniczenia strat ciepła związanych z wentylacją w instalacji zastosowano trzy układy rekuperacji (osobno dla pomieszczeń biurowych, socjalnych i hali drukarskiej). Poprawne działanie systemu zobrazowano w postaci wykresu zmian temperatur we wspomnianych pomieszczeniach. Dla największej centrali wentylacyjnej zamieszczono też przebieg temperatur strumieni powietrza dla wybranych dni. W podsumowaniu zawarto wnioski płynące z dotychczasowej eksploatacji oraz plany dalszego rozwoju systemu.

Słowa kluczowe: systemy ogrzewania, oszczędność energii, pompy ciepła, maty grzejne, pasywne systemy chłodzenia

¹ Autor do korespondencji / corresponding author: Wojciech Bialik, Politechnika Śląska, Wydział Inżynierii Materiałowej i Metalurgii, ul. Krasińskiego 8, 40-019 Katowice; tel. 326034132; wojciech.bialik@polsl.pl

² Stanisław Gil, Politechnika Śląska

³ Bolesław Machulec, Politechnika Śląska

⁴ Józef Ochman, Politechnika Śląska

1. Wprowadzenie

Mimo zastosowania nowoczesnych materiałów konstrukcyjnych oraz nowatorskich rozwiązań architektonicznych koszty ogrzewania hal produkcyjnych i pomieszczeń biurowych mogą być znaczące. Powiększają je jeszcze nakłady poniesione na przygotowanie ciepłej wody użytkowej niezbędnej do celów higienicznych dla pracującej załogi. Dlatego też w zakładach o odpowiednio wysokiej kulturze technicznej dąży się do wykorzystania do tych celów energii odpadowej z procesów produkcyjnych o ile taka możliwość istnieje. W niektórych przedsiębiorstwach strumień energii odpadowej z technologii do zagospodarowania jest zbyt mały i na potrzeby systemu grzejnego i CWU trzeba go uzupełnić energią konwencjonalną lub odnawialną. Najlepszym rozwiązaniem z punktu widzenia ekologii jawi się jako uzupełnienie potrzeb wykorzystanie energii odnawialnej [1-3].

W pracy przedstawiono hybrydowy system ogrzewania hal drukarni oraz pomieszczeń socjalnych i biurowych wykorzystujący ciepło odpadowe z układów chłodzenia maszyn drukarskich. Jako uzupełnienie zastosowano pompy ciepła. System grzejny współpracuje z układem przygotowania ciepłej wody użytkowej do celów higienicznych.

2. Opis układu ogrzewania, chłodzenia i przygotowania ciepłej wody użytkowej

Prezentowany system, który został zastosowany w przedsiębiorstwie, ma możliwość spełniania funkcji grzania i chłodzenia oraz współpracuje z układem przygotowania ciepłej wody użytkowej. Podzielony jest on na trzy strefy grzejno-chłodzące:

- halę drukarni,
- pomieszczenia socjalne załogi,
- pomieszczenia biurowe.

W obliczeniach projektowych autor koncepcji instalacji i jej wykonawca wykorzystali wykonana wcześniej ocenę gospodarki energetycznej budynku i audyt energetyczny [4,5]. Zidentyfikowane straty ciepła dla części socjalno-biurowej oraz hali drukarni i magazynu przedstawiono w tablicy 1.

Uproszczony schemat ideowy układu grzejno – chłodzącego pomieszczeń biurowych przedstawiono na rysunku 1. Natomiast na rysunku 2 zobrazowano układ grzejno – chłodzący hali drukarni i pomieszczeń socjalnych. W systemie tym wykorzystano pięć pomp ciepła o sumarycznej mocy modulowanej 35÷150 kW, które współpracują z dwoma buforami ciepła lub chłodu w zależności od pory roku i potrzeb. Dodatkowo w układ wpięty jest zasobnik ciepłej wody użytkowej.

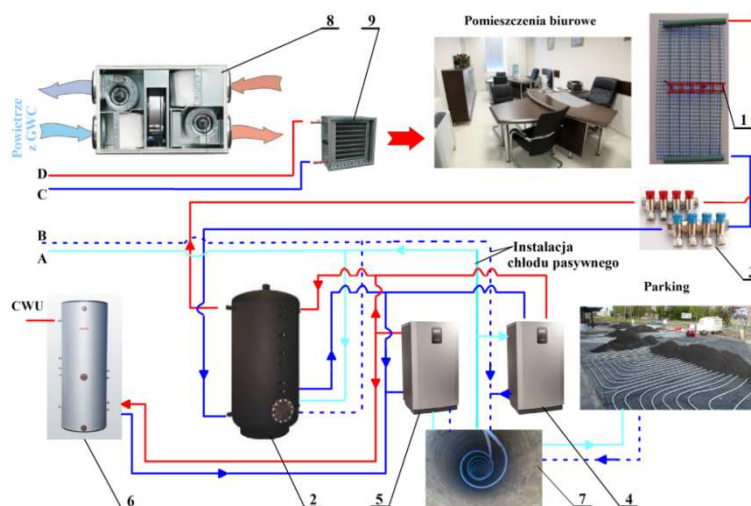
Tablica 1. Straty ciepła dla części socjalno-biurowej oraz hali drukarni i magazynu, na podstawie [4]

Table 1. The heat loss for the social-office part and printing hall and storage, based on [4]

	Udział w stratach ciepła	
	Część socjalno-biurowa	Hala drukarni i magazyn
Ściany zewnętrzne	32,67 %	11,34 %
Wentylacja	19,42 %	32,81 %
Okna i drzwi + system elewacji	18,11 %	2,02 %
Stropodach	17,19 %	21,88 %
Posadzka na gruncie	11,69 %	12,40 %
Świetliki	0,92 %	19,55 %

2.1. Układ grzania i chłodzenia pomieszczeń biurowych

Pomieszczenia biurowe ogrzewane lub schładzane są za pomocą przepływu cieczy w matach grzewczych (1) umieszczonych w ścianach. Ułożono także rury grzewcze w podłodze w pasie ścian zewnętrznych. Woda zasilająca układ grzewczy ma temperaturę $22 \div 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ i pobierana jest z bufora ciepłej wody (2). Woda obiegu grzewczego przepływa przez rozdzielacze (3), które wyposażone są w zawory z siłownikami, co umożliwia niezależną regulację temperatury w pomieszczeniach z podziałem na strefy. Zawory te są także wykorzystywane w trakcie schładzania do odcięcia przepływu zimnej wody przez rury umieszczone w pod-



Rys. 1. Uproszczony schemat ideowy układu grzewco – chłodzącego pomieszczeń biurowych: 1–maty grzewcze, 2–bufor ciepła, 3–rozdzielacz z zaworami, 4–pompa ciepła, 5–pompa ciepła, 6–zasobnik ciepłej wody użytkowej, 7–gruntowy wymiennik ciepła, 8–stacja wentylacyjno-rekuperacyjna, 9–nagrzewnica,

Fig. 1. A simplified schematic diagram of a heating system - cooling of office space: 1 - heating mats, 2 - heat buffer, 3 - divider with the valves, 4 - heat pump, 5 - heat pump, 6 - domestic hot water reservoir, 7 - ground heat exchanger, 8 - station of ventilation and recuperation, 9 - heating coil.

łodze. Do bufora ciepła (2) strumień energii w trakcie procesu grzania dostarczany jest z dwóch pomp ciepła (4) i (5) typu ciecz – ciecz. Jako główna traktowana jest pompa ciepła (4), natomiast pompa ciepła (5) spełnia rolę szczytową, a jej zadaniem jest podgrzewanie ciepłej wody użytkowej w zasobniku (6).

Dolnym źródłem ciepła dla agregatów (4) i (5) jest pionowy gruntowy wymiennik ciepła zlokalizowany pod podłogą hali drukarni. Wykonany został w postaci 13 otworów, do których wprowadzono rurę PE o średnicy 40 mm w kształcie litery U. Wymiennik ten spełnia trzy funkcje w zależności od potrzeb:

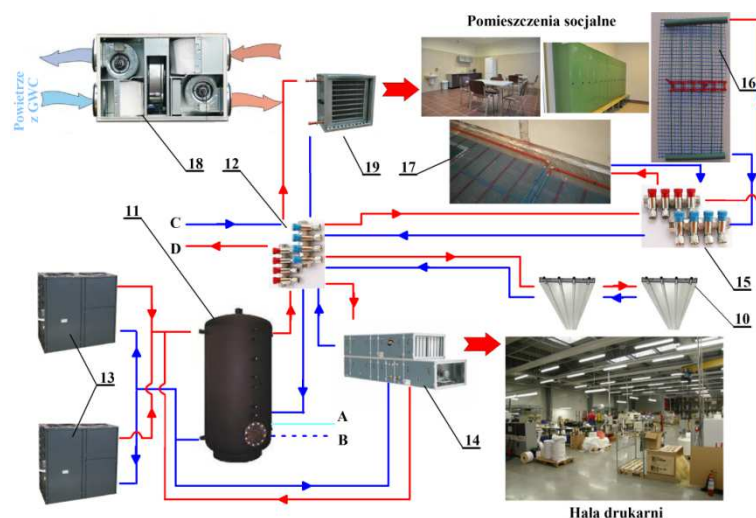
- jest dolnym źródłem energii dla pomp ciepła (4) i (5),
- przepływająca przez wymiennik ciecz obiegowa służy do ogrzewania płyty parkingowej,
- ciecz obiegowa z gruntowego wymiennika ciepła jest w lecie wykorzystywana w instalacji chłodu pasywnego do utrzymywania niskiej temperatury wody w buforach (2) - rys.1 i (11) - rys. 2.

Zużyte powietrze z pomieszczeń biurowych, którego strumień objętości wynosi ok. 1780 m³/h odprowadzane jest na zewnątrz budynku poprzez system rekuperacji (8). Świeże powietrze zasysane zewnętrzną czerpnią przepływa przez poziomy gruntowy wymiennik ciepła, skąd kierowane jest do rekuperatorów, przejmując część strumienia entalpii z powietrza zużytego. Średnia sprawność układu rekuperacji wynosi ok. 65%. Przed skierowaniem do pomieszczeń biurowych jego temperatura dodatkowo jest regulowana w nagrzewnicy (9).

W okresie letnim świeże powietrze omija rekuperator bypassem, a w nagrzewnicy jest obniżana jego temperatura z wykorzystaniem chłodu pasywnego. W razie konieczności istnieje też możliwość dochłodzenia powietrza wlotowego do biur, w sposób aktywny z wykorzystaniem pompy ciepła. W czasie chłodzenia woda obiegowa kierowana do mat ściennych i nagrzewnicy ma temperaturę ok. 18 °C. W okresie tym temperatura cieczy obiegowej dolnego źródła współpracującego z pompami ciepła (4) i (5) może dochodzić nawet do 9 ÷ 12 °C w zależności od stopnia regeneracji po okresie zimowym.

2.2. Układ grzania i chłodzenia hali drukarni i pomieszczeń socjalnych

Uproszczony schemat układu zapewnienia komfortu cieplnego hali drukarni i pomieszczeń socjalnych przedstawiono na rysunku 2. Elementami grzejnymi i chłodzącymi, w zależności od potrzeb w przestrzeni hali drukarni, są podsufitowe promienniki (10) zasilane z bufora ciepła (11) wodą o temperaturze 28 ÷ 30 °C w okresie grzania. Halę w trakcie budowy, z uwidocznionymi promiennikami, przedstawiono na rysunku 3. Rozdział na strefy i regulacja medium obiegowego przeprowadzana jest w rozdzielaczach (12). Bufor ciepła (11) zasilany jest strumieniem entalpii z dwóch pomp ciepła typu powietrze – ciecz (13) oraz pompą ciepła typu powietrze – ciecz umieszczoną w centrali wentylacyjnej (14). Zadaniem tej pompy jest odzysk entalpii unoszonej ze zużytym powietrzem



Rys. 2. Uproszczony schemat ideowy układu grzejno – chłodzącego hali drukarni i pomieszczeń socjalnych: 10 – promienniki podsufitowe, 11 – bufor ciepła, 12 – rozdzielacz z zaworami, 13 – pompy ciepła, 14 – centrala wentylacyjna, 15 – rozdzielacz z zaworami, 16 – heating mats, 17 – ogrzewanie podłogowe korytarzy, 18 – stacja wentylacyjno-rekuperacyjna, 19 – nagrzewnica.

Fig. 2. A simplified schematic diagram of a heating - cooling system of the printing hall and social rooms: 10 – ceiling radiators, 11 – heat buffer, 12 – divider with the valves, 13 – heat pumps, 14 – ventilation unit, 15 – divider with the valves, 16 – heating mats, 17 – floor heating of corridors, 18 – station of ventilat



Rys. 3. Instalowanie podsufitowych promienników w trakcie robót

Fig. 3. Installing of ceiling radiators during the works

odprowadzonym z hali do otoczenia. Świeże powietrze, którego strumień objętości wynosi ok. $5250 \text{ m}^3/\text{h}$ czerpane z otoczenia ogrzewane jest w układzie rekuperacyjnym centrali wentylacyjnej, a dalszy wzrost temperatury do zakładanego poziomu można realizować dzięki zintegrowanej w jej wnętrzu nagrzewnicy. Jest ona zasilana ciepłą wodą z bufora (11) poprzez rozdzielacze (12).

Pomieszczenia socjalne ogrzewane lub chłodzone są matami ściennymi (16), przez które przepływa czynnik roboczy przesyłany z zasobnika (11) poprzez układ rozdzielaczy (12) i (15). Rozdzielacz (15) zasila dodatkowo system ogrzewania podłogowego (17), który został umieszczony w korytarzach łączących halę produkcyjną, pomieszczenia socjalne i biura. System ten, analogicznie jak w przypadku pomieszczeń biurowych, jest odcinany automatycznie zaworami rozdzielacza (15) w okresie letnim, w trakcie procesu chłodzenia. W pomieszczeniach socjalnych zainstalowano układ mechanicznej wentylacji ze stacją rekuperacyjną (18), do której świeże powietrze jest czerpane przez gruntowy poziomy wymiennik ciepła umieszczony pod halą. Gruntowy poziomy wymiennik ciepła w trakcie robót ziemnych i instalacyjnych przedstawiono na rysunku 4. W okresie zimowym możliwość podniesienia temperatury do żądanej wartości zapewnia nagrzewnica (19) zasilana medium obiegowym z bufora ciepła (11). W czasie



wykorzystywania systemu do chłodzenia bufor (11) zasilany jest schłodzoną cieczą obiegową (króćce A i B) z gruntowego wymiennika ciepła (7) – rys.1.

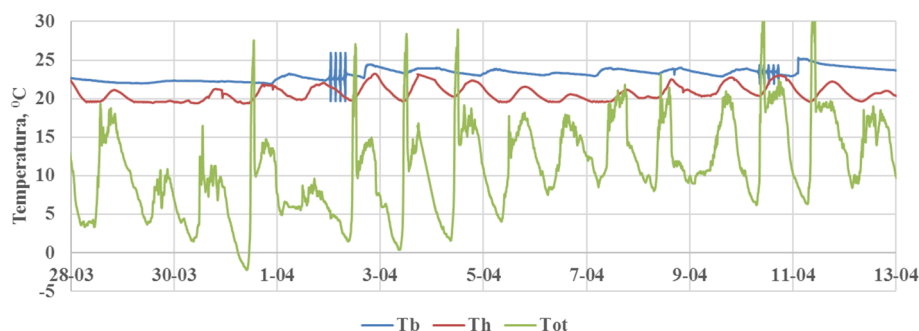
Rys. 4. Roboty ziemne w trakcie budowy gruntowego poziomego wymiennika ciepła

Fig.4. Earthworks during construction of the horizontal ground heat exchanger

Zarejestrowany przebieg temperatur w pomieszczeniach biurowych i hali drukarni oraz temperaturę otoczenia dla wybranego okresu 2 tygodni przedstawiono na rysunku 5.

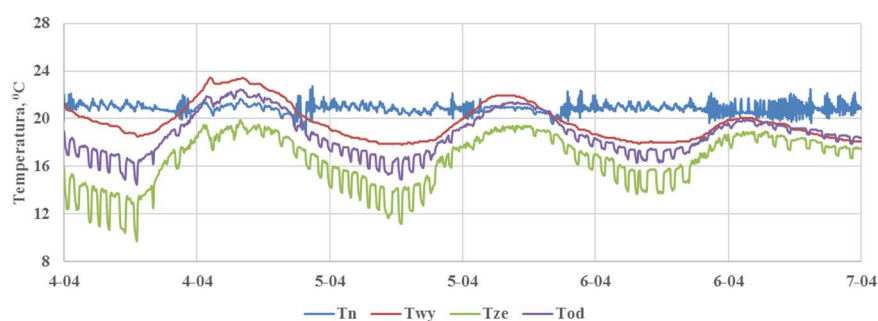
Na przedstawionym wykresie zauważalna jest duża oscylacja temperatury otoczenia. Jest to pomiar zarejestrowany przez czujnik tej wielkości fizycznej, który jest zintegrowany ze sterownikiem pompy ciepła (4) – rys.1. Fabrycznie został on przymocowany do obudowy zewnętrznej pompy, co skutkuje jego ogrzewaniem promieniami słonecznymi mimo, iż pompa usytuowana jest przy północno - wschodniej stronie ściany budynku. Aby w przyszłości zapobiec takim przekłamaniami dokonano zmiany sposobu jego mocowania.

Jednym z istotniejszych elementów infrastruktury układu ogrzewania hali, umożliwiającą również odzysk strumienia entalpi z powietrza zużytego, jest centrala wentylacyjna (14) – rys. 2. Istotne temperatury zarejestrowane w czasie jej pracy zaprezentowano na rysunku 6. Sprawność układu rekuperacji jest uzależniona od aktualnych warunków pracy i okresowo dochodzi nawet do 70 %.



Rys. 5. Przykładowe zarejestrowane zmiany temperatury w ogrzewanych pomieszczeniach oraz temperatura otoczenia: Tb – temperatura w pomieszczeniach biurowych, Th – temperatura w hali drukarni, Tot – temperatura otoczenia.

Fig. 5. Exemplary of registered temperature changes in the heated rooms and ambient temperature: Tb - temperature in offices, Th - temperature in the printing hall, Tot - ambient temperature.



Rys. 6. Przykładowe zarejestrowane zmiany temperatury w centrali wentylacyjnej hali drukarni: Tn – temperatura powietrza napływającego do hali, Twy – temperatura powietrza zasysanego z hali, Tze – temperatura powietrza zasysanego z czerpni mierzona przed rekuperatorem, Tod – temperatura na wylocie do otoczenia

Fig. 6. Exemplary of registered temperature changes in the ventilation central of the printing hall: Tn - temperature of the air flowing into the hall, Twy - temperature of the air sucked from the hall, Tze - air temperature sucked from the air intake, measured before the recuperator, Tod - temperature at the outlet to the environment.

3. Analiza pracy systemu grzania i wnioski

Z analiz przeprowadzonych po pierwszym niepełnym sezonie grzewczym wynika, że można wprowadzić następujące udoskonalenia stosowanych rozwiązań:

- zastosowanie rozbudowanego systemu odzysku ciepła oraz jego odnawialnych źródeł zaspokaja nawet do 80 % zapotrzebowania na energię potrzebna do ogrzewania i przygotowania CWU;
- pracownicy pomieszczeń biurowych zwrócili uwagę na odczuwalny dyskomfort związany z nadmuchem chłodniejszego powietrza ze stacji wentylacyjno – rekuperacyjnej, mimo iż była ona wyższa o $2\div 3$ °C, niż temperatura otoczenia; powinno się odpowiednio zmodyfikować parametry pracy nagrzewnicy (9) – rys. 1 oraz zmierzyć i przeanalizować prędkości wypływu;

– należy rozważyć rozbudowę systemu o zagospodarowanie strumienia entalpii powietrza o temperaturze ok. 60 °C pochodzącego z układu chłodzenia niedawno nabytych, nowych maszyn drukarskich zwiększających wydajność zakładu; szacowana moc tego źródła to ok. 6 ÷ 10 kW: obecnie ten strumień entalpii jest rozpraszany w otoczeniu, co powoduje lokalne przegrzania;

W najbliższym czasie ukończone zostaną przygotowania do dalszej rozbudowy infrastruktury energetycznej firmy w postaci elektrowni słonecznej o mocy nominalnej 18 ÷ 30 kW. Moduły fotowoltaiczne zostaną umieszczone na dachowaniu, nad rampą załadowniczą oraz pokryją część dachu hali. Inwestycja jest odsuwana w czasie ze względu na niestabilność prawa w Polsce.

Literatura

- [1] Fong K.F., Chow T.T., Lee C.K. Lin Z., Chan L.S.: Comparative study of different solar cooling systems for buildings in subtropical city. *Solar Energy*, 84, (2010), 227-244.
- [2] Henning H.M.: Solar Air-Conditioning and Refrigeration. Feature Article in: Murphy P. (editor): IEA Solar Heating and Cooling Programme, 2010 Annual Report, April 2011.
- [3] Murphy P. (editor): IEA Solar Heating and Cooling Programme, 2010 Annual Report, April 2011.
- [4] Audyt Energetyczny budynku hali produkcyjno-magazynowej wraz z budynkiem socjalo-biurowym. Eljot Partners sp. z o.o.
- [5] Projekt instalacji grzewczo-chłodzącej Zakładu Poligrzficznego. Eljot Partners sp. z o.o.

LOW TEMPERATURE HEATING SYSTEMS FOR PRODUCTION HALLS WITH USE OF RENEWABLE ENERGY SOURCES

Summary

The paper presents a modern heating system of the printing hall, offices and social services. It was presented on two diagrams and discussed in the first part of the article. System utilizes the heat pumps of liquid-liquid and liquid air. For pumps of liquid-liquid the lower source is vertical ground heat exchanger, consisting of 13 holes having a depth of 100 m. In the described solution also been used horizontal ground heat exchanger to heat which has been taken from the environment of ventilation air flowing then to the recuperators of offices and social rooms. Ground heat exchangers during their construction are presented in one of the drawings. Office and social rooms are heated (or cooled) by medium flowing in the wall mats and in selected parts of a floor. To limit the heat loss associated with the ventilation in the system has been uses three sets of the recuperation (separately for offices, social rooms and printing hall). Correct system operation is illustrated in the graph of temperature changes in these rooms. The summary contains conclusions from current exploitation and plans for further development of the system.

Keywords: heating systems, energy saving, heat pumps, heating mats, passive cooling systems

Przestano do redakcji: 16.02.2017 r.

Przyjęto do druku: 31.03.2017 r.